

Climatização Geosolar em Moura

Miguel Santos¹, Rogério Duarte²

¹ Projetista e Consultor, Rua da Boa Vista, 31, Albarraque, 2635-019 Rio de Mouro, Portugal
migueldacostasantos@gmail.com

² Escola Superior de Tecnologia, Instituto Politécnico de Setúbal, Campus do IPS, Estefanilha, 2919-761 Setúbal, Portugal, rogerio.duarte@estsetubal.ips.pt

RESUMO

Neste artigo faz-se a descrição de conceitos subjacentes ao sistema de climatização geosolar aplicado no novo edifício da Lógica, E.M. em Moura, incluindo-se fundamentação teórica, aspetos preditivos de funcionamento, descrição técnica, considerações quanto aos custos e sustentabilidade, e, enquadramento ao abrigo do SCE.

Trata-se de um sistema de AVAC *Carbono Zero*, ideal para aplicação em várias latitudes, nomeadamente as de Portugal Continental. Como principais conclusões deve referir-se que é possível obter uma solução deste tipo com um custo global da ordem de grandeza dos sistemas de AVAC de elevada qualidade o que significará que as poupanças dos custos com energia começam a ser sentidas desde o primeiro dia de utilização. Tornou-se ainda possível que um edifício de serviços que estaria naturalmente abrangido pelo RSECE, seja tratado ao nível do RCCTE.

Palavras-chave: Criocausto, Energia solar, Geotermia

1. INTRODUÇÃO

O âmbito de aplicação da energia solar, *latu sensu*, não cessa de aumentar, notando-se em cada ano que passa, cada vez mais caminhos possíveis para além dos clássicos que são já hoje indispensáveis. Aparecem com inúmeras vertentes que têm tido a atenção das várias equipas de projeto e de I&D que a ela se vão dedicando. Para nomear apenas algumas das que têm sido tentativamente desenvolvidas, com mais ou menos sucesso no subsector térmico, refira-se: o aquecimento ambiente, a produção de frio (absorção), a desumidificação (regeneração de sílica gel), a conversão termoelétrica (ciclos de Rankine e Stirling), aplicações de calor industrial (aquecimento de óleos térmicos) e a ventilação “térmica” (efeito chaminé). Acredita-se que muitas destas soluções irão conhecer desenvolvimentos importantes nos próximos anos à medida que for compreendido que muitas destas valências poderão ter complementaridade e sinergias quando olhadas de forma global.

Um outro aspeto importante reporta-se ao acoplamento entre sistemas solares e um “reservatório térmico” de temperatura adequada ao conforto humano que é a temperatura do solo a alguma profundidade. Os sistemas de “*Earth Cooling*” em túneis e as Bombas de Calor Geotérmicas fundamentam-se neste aproveitamento da estabilidade térmica do solo.

Ao acoplamento de sistemas solares e de sistemas geotérmicos dar-se-á nesta comunicação a designação de sistema geosolar. Este conceito permite a repescagem de algumas soluções de climatização do passado como sejam o hipocausto Romano e outras soluções que foram aplicadas até ao princípio do séc. XX. Tratam-se de soluções “Geo” e “Solares” que permitem acrescentar à valência de aquecimento aquela de arrefecimento. Uma das soluções permitidas é aquilo que podemos designar em homenagem à engenharia Romana como Hipocriocausto Geosolar ou, para abreviar um pouco um nome longo, simplesmente Criocausto (Frioquente).

O caso de estudo em foco, é o sistema de climatização do novo edifício da Lógica, E.M. (adiante apenas Lógica), em Moura, um exemplo de *Hipocriocausto Geosolar*, na sua variante de *motorização mecânica*. Com esta designação, procuram-se caracterizar os modos de funcionamento do sistema:

- *Hipocriocausto*, designa um sistema “tudo-ar” de arrefecimento/aquecimento que alimenta um dado edifício a partir duma cota inferior à do piso térreo.
- *Geosolar*, designa as fontes de climatização primárias, ou seja, os principais agentes de arrefecimento e aquecimento neste caso são a Terra e o Sol.
- *Motorização mecânica*, designa a energia de movimentação do ar dentro do edifício. Mecânica, pois trata-se dum ventilador mecânico (ou uma Unidade de Tratamento de Ar – UTA). Apesar do recurso a energia elétrica, esta energia é proveniente de painéis fotovoltaicos. Note-se que se a “motorização” fosse *térmica* estaríamos a falar em exclusivo de movimentação por “efeito de chaminé” para a estação fria, ou então de um “ventilador térmico” para potenciar o “efeito de chaminé” na estação quente.

2. FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA

Tendo por base dados de 2011 de temperaturas do solo em Beja [1] e atendendo ao exposto em [2] apresentam-se na Figura 1 estimativas da evolução mensal da temperatura do solo a diferentes profundidades na região de Beja.

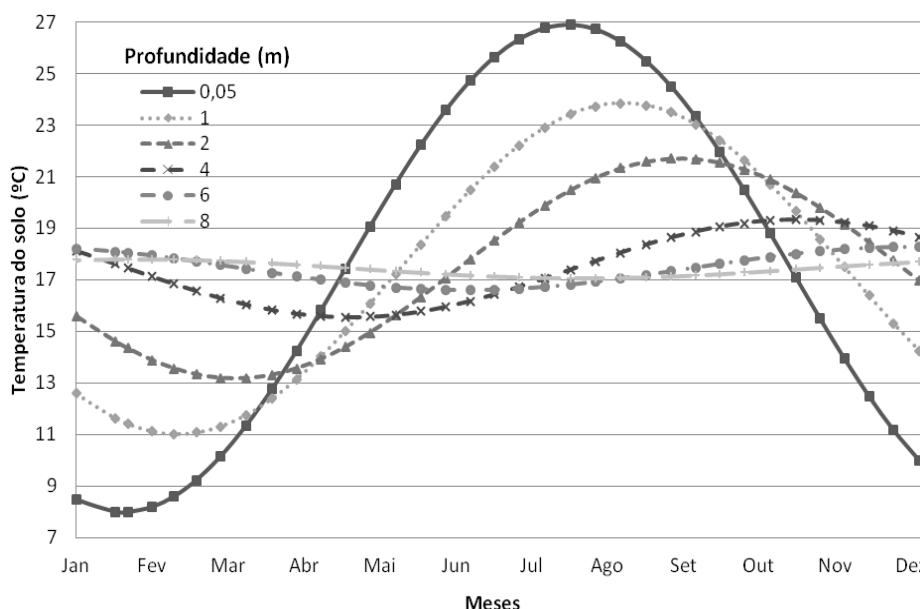


Figura 1- Evolução da temperatura do solo com a profundidade e mês do ano (considerou-se uma difusividade térmica do solo de $0,6 \text{ mm}^2/\text{s}$).

Destaca-se na Figura 1 a redução da amplitude térmica anual no solo com a profundidade. Este fato transforma o solo num óbvio candidato à permuta de energia gratuita com o ar exterior uma vez que, afortunadamente, a temperatura do solo está sempre do “lado certo” em aplicações de climatização; permitindo o aquecimento do ar frio no inverno e o arrefecimento do ar quente no verão. Destaca-se também o desfasamento das curvas sinusoidais com o aumento da profundidade, observando-se para profundidades superiores a 4 m um “efeito virtuoso” que faz com que o solo possua temperaturas ligeiramente mais elevadas (que a média) no inverno e ligeiramente mais baixas (que a média) no verão.

Com base nos resultados da Figura 1 conclui-se que ao conduzir ar exterior através de um túnel a 5 m de profundidade na região de Beja este ar contactará solo que, em condições não perturbadas, se encontrará à temperatura média de aproximadamente $17,5^\circ\text{C}$ e que exibirá oscilações de temperatura anuais que nunca excedem os $3,5^\circ\text{C}$.

Com base nas temperaturas do solo não perturbado acima apresentadas e em valores de normais meteorológicas de Beja [3] aplicou-se o modelo de permutador de calor solo-ar proposto em [4] na estimativa do fluxo de calor trocado num túnel com 1 m de diâmetro e 70 m de comprimento e a uma profundidade de 5 m. A Figura 2 apresenta, para um caudal de 3750 m³/h, estimativas de temperaturas de saída do ar do túnel quando se admitem os valores mensais médios, máximos e mínimos (de séries de 30 anos) de temperatura do ar exterior (que entra no túnel).

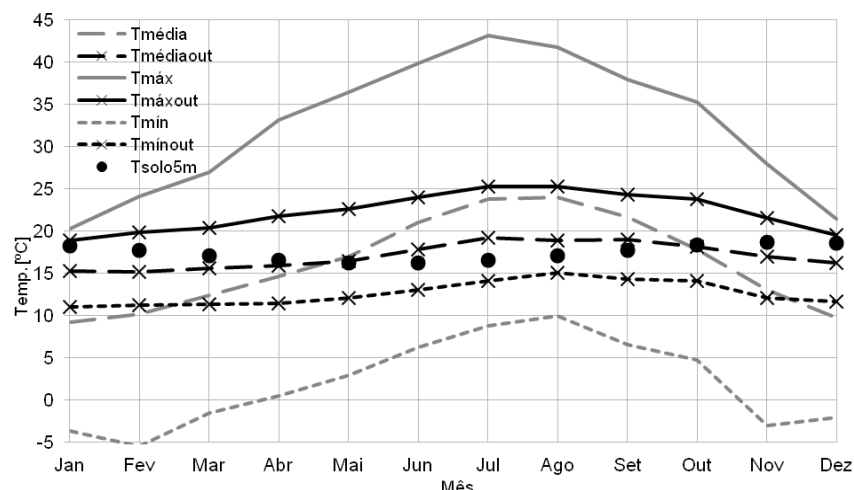


Figura 2- Evolução das temperaturas mensais média (Tmédia), máxima (Tmáx) e mínima (Tmín) do ar na região de Beja e respetivas temperaturas do ar à saída (“out”) de um túnel de 70 m de comprimento a 5 m de profundidade e com 1 m de diâmetro. Representam-se também valores médios mensais de temperatura do solo a 5 m de profundidade na região de Beja [1].

A Figura 2 torna claro o efeito de moderação do solo sobre a temperatura do ar exterior. Mesmo para valores extremos de 30 anos da temperatura do ar exterior da ordem de 43°C / -5°C; à saída do túnel obtêm-se temperaturas de 25°C / 12°C.

Para compreender a evolução expectável da temperatura do ar exterior ao passar a diferentes velocidades num túnel com as características atrás referidas apresenta-se a Figura 3.

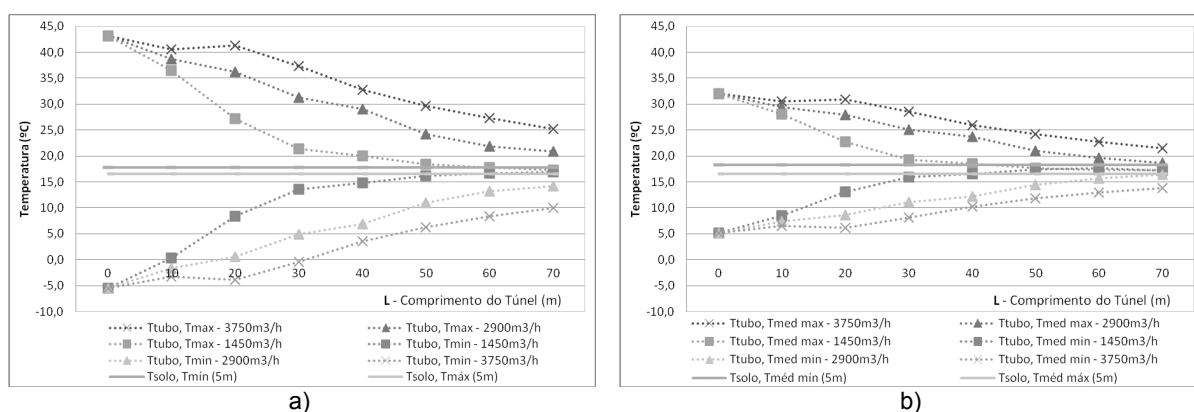


Figura 3- Evolução da temperatura ao longo de um túnel com 1 m de diâmetro a 5 m de profundidade sujeito a condições na região de Beja, considerando diferentes temperaturas de entrada do ar e três caudais distintos.

Na Figura 3 a) apresentam-se resultados com temperaturas extremas do ar exterior – valores máximos e mínimos anuais; para a Figura 3 b) apresentam-se resultados considerando valores médios anuais de temperaturas máximas e mínimas. Os três caudais considerados correspondem a velocidades médias de escoamento de 0,51 m/s, 1,03 m/s e 1,33 m/s.

Podemos observar na Figura 3 a), para as temperaturas extremas, o seguinte: à saída do túnel e para o caudal correspondente à menor velocidade – 0,51 m/s –, a temperatura do ar atinge valores próximos da temperatura do terreno, aproximadamente 17,5°C, conseguindo-se gradientes térmicos entre a entrada e saída do túnel da ordem de 25°C. Para o caudal correspondente à maior velocidade – 1,33 m/s – o gradiente térmico reduz-se para 18°C, sendo a temperatura de saída de 25°C, e reduzindo-se por isso bastante o potencial entálpico útil para climatização dos espaços de um edifício.

Analisando a Figura 3 b) conclui-se que as temperaturas de saída do túnel são em geral mais próximas da temperatura do solo; assim, para o caso mais frequente de temperaturas exteriores da ordem de grandeza dos valores médios anuais o potencial de climatização por utilização de túneis aumenta.

Com efeito, estas considerações tornam evidente o interesse em separar a potência intrínseca (total) de um túnel em duas componentes distintas. Uma componente designada de “serviço de ar novo”, ou seja, a potência adstrita à neutralização térmica do ar exterior e uma segunda componente designada de “serviço de climatização”, a climatização propriamente dita dos espaços de um edifício. A utilidade de um túnel enquanto sistema de climatização prende-se precisamente com o diferencial de entalpia (do ar) que permite relativamente a uma entalpia de referência escolhida para os espaços a climatizar (condições de projeto interiores).

Por questões que têm que ver com uma busca de sustentabilidade de recursos e que ultrapassa a lógica do conforto a qualquer custo, escolheram-se como referências térmicas nos espaços a climatizar os 27 °C para o verão e os 18 °C para o inverno, embora isto não seja ditado pelo sistema, nem sequer constitua uma limitação à utilização de condições interiores de maior conforto, sempre que as condições exteriores o favoreçam.

Definido:

- Potência útil para arrefecimento ambiente (Arref.Amb.), $\dot{m}(h_{27} - h_{out})$
- Potência de neutralização do ar exterior de verão (Arref.Ar Novo), $\dot{m}(h_{in} - h_{27})$
- Potência útil para aquecimento ambiente (Aquec.Amb.), $\dot{m}(h_{out} - h_{18})$
- Potência de neutralização do ar exterior de inverno (Aquec.Ar Novo), $\dot{m}(h_{18} - h_{in})$

com índices “in” e “out” relativos a entrada e saída do ar do túnel e “18” e “27” relativos às condições de referência de 18°C e 27°C em aquecimento e arrefecimento dos espaços de um edifício, obtém-se a Figura 4 para dois caudais distintos.

Da Figura 4 conclui-se que em modo de aquecimento, o “serviço de climatização” (Aquec.Amb.) é nulo em todas as circunstâncias relevantes de inverno, restando apenas o “serviço de ar novo” (Aquec.Ar Novo). Justifica-se assim que para um sistema de climatização, visto de uma forma global, deva ser acrescentada uma componente de aquecimento a juntar à componente “Geo” (geotérmica). A opção “Solar” (solar térmica) como componente adicional é a escolha óbvia num sistema que se designa como “geosolar”. Em modo de arrefecimento para condições de verão, e como se pode observar na comparação dos dois gráficos da Figura 4, o “serviço de ar novo” está sempre ativo – tal como no aquecimento – qualquer que seja a temperatura e o caudal; já quanto ao “serviço de climatização”, este tem sempre uma resposta favorável, e tanto mais favorável quanto o dimensionamento do túnel com a utilização de velocidades reduzidas. Este é, de facto, o fator que mais condiciona o dimensionamento dos túneis.

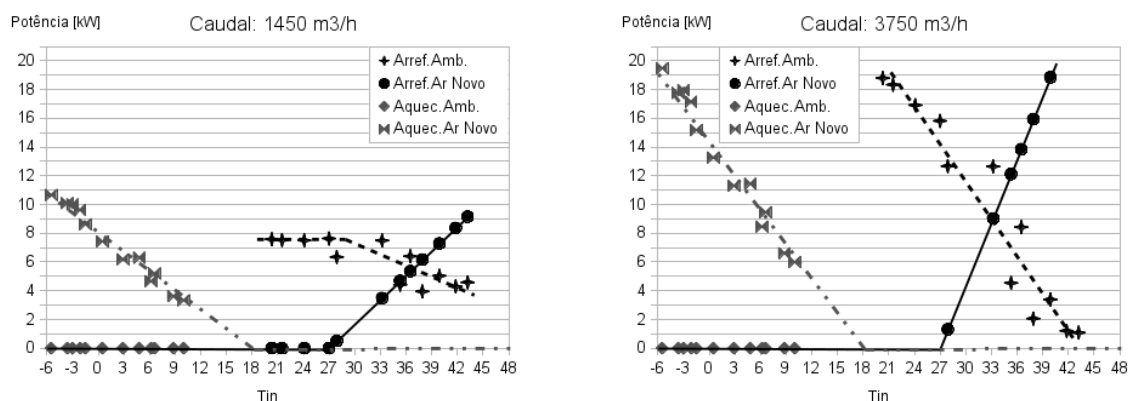


Figura 4- Potências úteis de arrefecimento e aquecimento ambiente bem como de neutralização do ar exterior para dois caudais distintos e considerando um túnel com 1 m de diâmetro a 5 m de profundidade sujeito a condições ambiente típicas da região de Beja.

3. O SISTEMA DE CLIMATIZAÇÃO

A Figura 5, mostra como se dá o tratamento do ar de climatização nos dois túneis que servem o edifício da Lógica. Do lado esquerdo para o lado direito temos em sequência: Torre Fria e Poço de Admissão de Ar Exterior, Túneis de Arrefecimento/Aquecimento, Central de Ventilação e Tratamento de Ar.

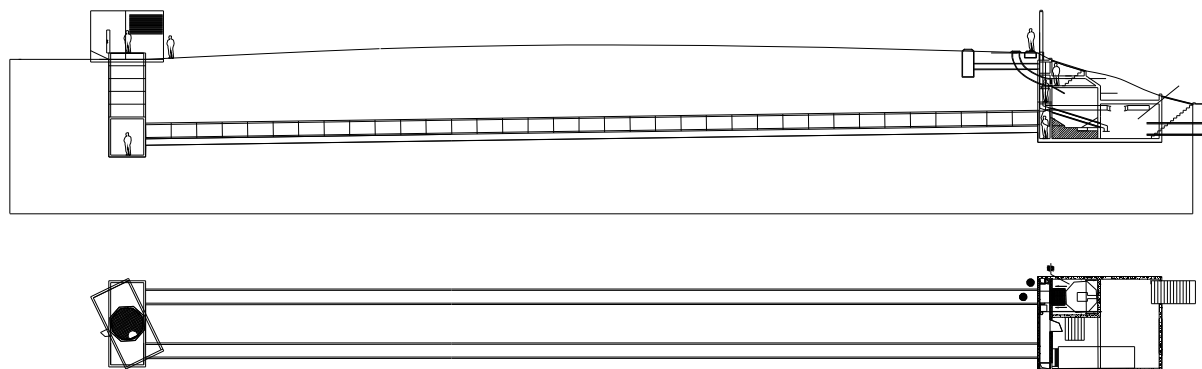


Figura 5- Representação de tomada de ar, climatizador geotérmico (túneis) e central de insuflação de ar tratado no edifício da Lógica.

3.1 Central de Ventilação e Tratamento de Ar

Na Central de Ventilação e Tratamento de Ar (CVTA) encontram-se uma UTA, um Depósito de Água Quente (DAQ), que recebe o calor de captura solar, vindo da estação solar térmica da Lógica, e encontramos também o sistema de backup que irá assegurar o aquecimento de reforço enquanto a estação solar não estiver operacional, ou seja, o depósito de biomassa e a caldeira de biomassa. Inclui também seis variadores de caudal que correspondem às seis zonas de zonamento pré-definido para o edifício da Lógica, cuja missão é garantir níveis adequados de conforto térmico e qualidade do ar. Estes variadores de caudal ao serem modulados pelas condições dos espaços climatizados fazem variar as necessidades de caudal fornecido ao edifício, razão pela qual a UTA possui um ventilador de caudal variável.

3.2 A distribuição de ar ao edifício

Uma solução como a aqui desenvolvida, teria como extremamente vantajosa a chegada dos túneis a um nível inferior do próprio edifício, com o objetivo de redução de custos de investimento com a distribuição, e das perdas energéticas associadas à dissipação da energia de ventilação e térmica. Não tendo isto sido possível, optou-se pela distribuição

desde a CVTA até ao atravessamento das fundações, por meio de feixes de tubos em cama de areia exteriormente isolada – ver Figura 6 a) e b) –, minimizando-se assim as perdas térmicas para o terreno.



Figura 7 – Distribuição de ar ao edifício: a) as condutas que partem da central de ventilação e tratamento de ar (CVTA); b) o trajeto enterrado e isolado das condutas desde a CVTA até às fundações, c) plenum de insuflação do ar nos espaços do edifício, abaixo do pavimento e após atravessamento das fundações; d) vista de uma sala com saída do ar pelo teto falso.

3.3 A evolução do ar nos espaços

Após o atravessamento das fundações do edifício, o ar climatizado entra no pleno de insuflação da sala (abaixo do pavimento – ver Figura 7 c) espalhando-se ao longo deste e causando uma pressurização na sala que originará uma deslocação de “quantidade de movimento” de ar climatizado de muito baixa velocidade. Este ar tem como característica a sua paulatina deslocação desde a grelha de insuflação que encima o pleno de insuflação, no sentido dos locais de exaustão, criando no verão por efeito de estratificação uma zona de ocupação com condições de conforto otimizado para as capacidades do sistema instalado. O contacto entre este ar e as diversas cargas térmicas, provoca uma impercetível corrente ascensional do mesmo para a parte superior dos espaços, saindo assim este ar termicamente afetado, automaticamente para fora da zona de conforto. Uma vez saído da sala para o teto falso o ar é conduzido ao exterior atravessando uma grelha de sobrepressão.

3.4 O carregamento estrutural

Uma das valências importantes do sistema de climatização projetado para o edifício da Lógica é a capacidade de “carregar” termicamente o edifício, não permitindo que os utentes iniciem o dia de trabalho em situação de desconforto. Assim, toma-se partido da massa do edifício adequadamente isolada pelo exterior, como acumulador térmico, e gerador de temperaturas radiantes de conforto. A acumulação térmica conseguida durante o período noturno permite que a capacidade do sistema saia reforçada sempre que as condições exteriores sejam extremas.

4. CONCLUSÕES

O sistema geosolar projetado para o edifício da Lógica é um sistema AVAC de *Carbono Zero*, ideal para aplicação em várias latitudes, nomeadamente as de Portugal Continental. Não estando à data de entrega desta comunicação ainda em utilização – apesar da fase adiantada de execução – não é possível apresentar dados do comportamento térmico do sistema e confrontar estes dados com os resultados apresentados na secção 2 de fundamentação teórica. De seguida apresentam-se conclusões relativas a outros aspetos, não menos importantes.

4.1 Custos e sustentabilidade

Da experiência até agora recolhida do Dono de Obra e de propostas recebidas, concluem-se custos globais associados ao sistema de climatização geosolar da ordem dos 180 a 210€/m², descontando já os extracustos decorrentes de uma monitorização porventura demasiado zelosa (justificável por se tratar de de um projeto pioneiro) e de considerações

que têm que ver com o afastamento de Moura das zonas mais concorrenciais do mercado. Uma desagregação possível dos custos globais é aquela a seguir apresentada:

Construção Civil (dependendo da existência de cave)	– 100 a 130 €/m ²
Instalações Mecânicas	– 40 €/m ²
Instalações Elétricas e GTC	– 40 €/m ²

De referir que em termos de custos globais, estes se situam na ordem de grandeza daqueles de sistemas de AVAC de elevada qualidade.

Como corolário importa referir que: (i) as poupanças com custos de energia começam a ser sentidas desde o primeiro dia de utilização; (ii) o sistema de climatização geosolar permite uma incorporação de recursos nacionais entre equipamentos e mão de obra da ordem dos 90%.

4.2 Enquadramento no SCE

O edifício da Lógica climatizado com um sistema geosolar, porque possui uma área útil inferior a 1000 m² e porque não possui sistemas de climatização ativos com potência instalada superior a 25 kW (possui apenas uma caldeira de biomassa para backup da componente de aquecimento solar de 24 kW), está claramente excluído do âmbito do RSECE. Será assim no âmbito do RCCTE que irá encontrar o seu enquadramento no Sistema de Certificação Energética (SCE). Não obstante o edifício se encontrar enquadrado pelo RCCTE, foram tidos todos os cuidados com a instalação de climatização renovável, seguido-se os critérios mais importantes do RSECE, em tudo o que não é contrário a uma instalação de características essencialmente passivas. Assim, este projeto cumpre os requisitos de qualidade do ar e monitorização das instalações, como se dum sistema ativo se tratasse.

REFERÊNCIAS

- [1] Serrão, A. (Dir.), *Boletim Meteorológico para a Agricultura*, Instituto de Meteorologia, I.P., 2011, <https://www.meteo.pt/pt/index.html> (acedido em junho de 2012).
- [2] Givoni, B., Katz, L., *Earth Temperatures and Underground Buildings*, Energy and Buildings, Vol.8, pp. 15-25, 1985.
- [3] Ferreira, H. (Dir.), *O Clima de Portugal*, Fascículo XIII – Normais Climatológicas do Continente, Açores e Madeira correspondentes a 1931-1960, Serviço Meteorológico Nacional, 1965.
- [4] Santamouris, M., Asimakopoulou, D. (Ed.), *Passive Cooling of Buildings*, James&James, 1996.